

富硒蔬菜及富硒机理研究进展

杜小凤, 万鹰昕, 王禹涵, 倪芳

(北京联合大学 应用文理学院, 北京 100191)

摘要:硒是人体不可或缺的营养元素, 缺硒会引发多种疾病。利用蔬菜实现无机硒向有机硒的转化, 从而提高食物中硒的含量, 可以让人们在日常生活中提高硒的摄入量。该文阐述了土壤栽培富硒法、叶面喷洒富硒法、溶液培养富硒法和拌种富硒法 4 种蔬菜富硒方法的机理以及我国富硒蔬菜研究进展, 以期为开发易被人体吸收利用的植物性富硒食品提供理论及实践指导。

关键词:硒; 缺乏; 富硒蔬菜; 富硒方法

中图分类号:S 63 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)20-0186-03

硒(selenium)是地球上最稀有的元素之一, 由瑞典科学家在 1817 年发现^[1]; 它作为谷胱甘肽酶的重要组成部分, 能够清除自由基和延缓衰老^[2], 对人体健康至关重要^[3]。目前, 已被公认为人体营养必需的微量元素^[4]。膳食中硒的缺乏, 会导致心脏病^[5]、克山病^[6]、白内障^[7]、近视等多种疾病。有学者发现^[8-9], 硒的缺乏与不良情绪以及癌症的发生都有一定的关系。据我国的总膳食结构调查显示, 中国居民日常食物中硒的平均摄入量是 43.3 $\mu\text{g}/\text{d}$, 此摄入量低于我国营养学会推荐的硒适宜摄入量; 甚至在有些地区, 居民硒的摄入量不足推荐量的 1/2^[10]。硒摄入较少对我国居民的健康造成重大威胁。

为了解决居民硒不足的问题, 研究人员把注意力转向了富硒食品, 研发了一系列富硒制品: 自然转化硒制品、人工转化硒制品、含硒农作物、高科技纳米硒^[11-14]。研究发现, 利用植物的有机转化途径增加食物中硒的含量, 是提高人体硒营养的根本措施^[15]。蔬菜是我国居民的主要植物性食物之一, 可提供人体所需要的多种营养物质; 萝卜、油菜等十字花科蔬菜较其它植物有较高硒的富集能力^[16]。因此, 提高某些蔬菜中硒的含量, 对我国居民的健康具有一定的现实意义。目前通过增施外源硒来提高蔬菜中硒的含量, 是富硒蔬菜的研究热点^[17]。

1 蔬菜富硒方式

1.1 土壤栽培富硒法

土壤施硒是一种传统、简单的富硒方式。一般是在土壤中施用硒与磷钾的复合肥, 或施用煤灰或其它含硒物质, 采用条施法加入土壤中。植物对不同形态的硒, 如硒酸盐、亚硒酸盐, 有不同的活性吸收位点, 因此根系对它们的吸收和运转机理不同。就 Se^{6+} 和 Se^{4+} 而言, Se^{6+} 为主动吸收, 其在植物体内浓度超过外部环境中的浓度; Se^{4+} 为被动吸收, 其吸收和积累情况都低于 Se^{6+} 。相比于亚硒酸盐, 植物根部更易吸收和转移硒酸盐^[18]。目前, 尚不能确定所有植物根部对硒的吸收都存在主动和被动吸收; 同时, 也不能确定亚硒酸盐的运转速率都比硒酸盐低。

影响蔬菜对土壤中硒吸收的因素有很多, 其中最主要的因素是硒的存在形态, 而硒的存在形态又受土壤 pH 值影响: 在 pH 4.5~6.5 的土壤中, 硒以一种难溶于水的亚硒酸铁盐的形式存在, 蔬菜对其利用性很低; 而在 pH 7.5~8.5 的土壤中, 硒以一种可溶于水的硒酸盐离子的形式存在^[19], 蔬菜对其有较高的吸收利用。其次, 土壤有机化合物存在的类型也影响植物硒的利用, 土壤中如腐殖质的添加降低土壤中硒的利用率; 而一些有机酸(如草酸和柠檬酸)的添加, 将会提高硒在植物中的利用率^[20]。再者, 土壤类型对硒的吸收也有影响, 随着土壤中粘土含量的减少, 植物对硒的吸收逐渐增加^[21]。此外, 硫的存在会影响植物对硒的吸收, 在低硒的土壤条件下, 硒能替代蛋白质中的硫, 故一些富集硫的蔬菜对硒也有较强的吸收^[22]。

1.2 叶面喷洒富硒法

通过叶面的喷洒, 硒元素可以从植物被喷洒的部位转移到其它部位, 但此过程需要呼吸电位从外部提供一

第一作者简介:杜小凤(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养学。E-mail: xiaogouerli@163.com.

责任作者:万鹰昕(1976-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为微量元素研究。E-mail: wyx@bnu.edu.cn.

基金项目:北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划资助项目(CIT&TCD201404085); 北京联合大学 2015 年“启明星”大学生科技创新资助项目(201511417023; 201511417SJ088)。

收稿日期:2015-05-28

定的能量。研究发现^[23],在喷硒处理的植物体内,会形成一条“外部叶子→内部叶子”运输硒的通路。在此通路中,线粒体的活动加强,能量的消耗增多。植物的生长阶段会影响叶面的喷硒效果,所以要求喷硒处理要在植物特定的生长阶段进行;其次,洗涤剂的施加会促进植物对硒的吸收^[24]。此外,喷施季节及施加的肥料,也会影响植物对喷洒的硒的吸收和转化^[25]。

1.3 溶液培养富硒法

在溶液培养富硒的过程中,硒元素是以阴离子形式,从培养的溶液中转移到植物根部,再从根部转运到茎和叶等其它部位^[26]。而硒在植物内部的转移,与硒在土壤中的转移机理一致。在此应注意根据植物的生长阶段使用不同强度的培养液。

1.4 拌种富硒法

拌种富硒可增加植物体硒的含量,可能是硒对种子的处理降低了植物籽粒种传病害的影响。由于硒与某些含硫氨基酸有一定关系^[27],在拌种富硒的植物中,硒含量随含硫氨基酸的增多而增加。此外,MACLEOD等^[28]认为,植物的氮固定系统及有益的根际微生物,与植物中硒的含量也有紧密联系,但具体机理有待于进一步的研究。

2 我国富硒蔬菜的开发成果

近年来,随着硒的重要性的逐步发现,国内的富硒产业蓬勃发展。据国家相关部门的统计数据显示,2006—2011年,我国的富硒农产品工业总产值以每年约10%的速度增长^[29]。表1是我国主要富硒地区已产业化的富硒蔬菜种类统计。

表1 我国已产业化的部分富硒蔬菜

Table 1 Parts of selenium-rich vegetables that have been commercialized in China

| 地区 | 富硒蔬菜种类 |
|---------------------------|----------------------------------|
| District | Kind of selenium-rich vegetables |
| 山东章丘 ^[30] | 大葱 |
| 广西北海城区 ^[31] | 圆白菜 |
| 湖北省恩施州咸丰县 ^[32] | 红菜薹 |
| 湖北襄樊市 ^[33] | 脱水黄瓜 |
| 陕西省安康市 ^[34] | 黄瓜、芹菜 |
| 重庆江津 ^[35] | 时令蔬菜、黄秋葵、五彩蕃茄 |
| 青海省平安县 ^[36] | 春油菜、马铃薯、紫皮大蒜 |
| 山东省寿光县 ^[37] | 黄瓜、番茄、辣椒、水果黄瓜 |
| 山东济南历城 ^[37-38] | 大葱、豆角、芸豆、韭菜、菜花、萝卜 |
| 湖南省新田县 ^[39] | 广菜心、红皮萝卜、香姜、富硒辣椒、申铃南瓜、茄子、苦瓜、番茄 |

3 富硒蔬菜开发存在的问题

技术方面,每种外源富硒技术各有其优缺点。土壤施硒,虽然操作简单,适合大田试验,但资源损失,浪费严重,不提倡使用;叶面施硒,根外追肥的主要方法,它可避免土壤因素对施硒效果的干扰,从而从很大程度降

低硒的施用量。但叶面富硒法的成本较高,容易造成二次污染;溶液培养富硒,相比于土壤施硒,可使蔬菜在低浓度的外源硒下达到更高的硒含量^[26],但此方法对操作设备、环境条件等有某些限制;鉴于土壤施硒中硒与肥料的难混合,以及叶面加硒的高成本,拌种富硒应运而生^[28]。而目前,拌种富硒法仍有诸多技术(如降低液态硒的高添加量的技术^[40]、改善多年生植物不能富硒拌种的技术^[41])需进一步研究。因此,在选择蔬菜富硒方式时,必须结合蔬菜自身的条件,综合考虑各富硒方式的优缺点。

在国家政策方面,我国制定了相关法律法规,严格规范与控制富硒食品中硒的添加量。这就要求每一个富硒工作者在操作过程中一定要注意硒酸盐的用量,避免污染环境或产生毒害作用。

传统观念上,我国自古就是农业大国,让居民改变传统观念而接受“蔬菜富硒”,是开发富硒蔬菜中存在的难题,而使“蔬菜富硒”这一新概念深入人心,更将是一个漫长的过程。

4 富硒蔬菜的展望

富硒蔬菜,以食补代替药补,这种补硒方法不但安全方便,而且补硒效果明显。同时蔬菜较其它农作物方便易得,成本低,便于商业化推广。但目前,利用蔬菜将无机硒转化为有机硒的这种途径还处于试验阶段,到最终实现其商业化推广仍需一个长期的过程。该研究中所述4种富硒方法存在的不足以及每种蔬菜适合的具体富硒方法等问题,有待进一步解决和改善。因此解决这些技术难题,从而为开发易被人体吸收利用、含硒丰富的植物性食品提供理论依据和实践参考,将是今后研究的主要方向。

参考文献

- [1] SCHWARZ K, FOLTZ C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration[J]. Journal of American Chemical Society, 1957, 79(12): 3292.
- [2] 彭耀湘, 陈正法. 硒的生理功能及富硒水果的开发利用[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(3): 381-384.
- [3] 李承田. 硒的生物学作用[J]. 化学教学, 1994(4): 28-29.
- [4] 倪静安. 微量元素硒、自由基与健康的关系[J]. 无锡轻工业学院学报, 1992, 11(3): 274-279.
- [5] COMBS G F. Food system-based approaches to improving micronutrient nutrition: The case for selenium[J]. Biofactors, 2000, 12(1-4): 39-43.
- [6] LI C S. Selenium deficiency and endemic heart failure in China: A case study of biogeochemistry for human health[J]. A Journal of the Human Environment, 2007, 36(1): 90-93.
- [7] 伍凤娟, 史奎雄, 谈松年, 等. 酵母硒对老年性白内障的影响[J]. 营养学报, 1994, 16(4): 419-421.
- [8] CLARK L C, COMBS G F J, TURNBULL B W, et al. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin-A randomized controlled trial[J]. Jama-Journal of the American Medical Association, 1996, 276(24): 1957-1963.

- [9] RAYMAN M P. The importance of selenium to human health[J]. Lancet, 2000, 356(9225): 233-241.
- [10] 王景怀, 施辰子. 富硒农产品开发及含硒量标准的探讨[J]. 天津农林科技, 2005(3): 15-17.
- [11] LI L H, LIN Q L. Selenium-enriched foods research progress in China[J]. Food and Nutrition in China, 2007, 2: 23-25.
- [12] WHANGER P D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2002, 21(3): 223-232.
- [13] 张杨杨, 焦自高, 艾希珍, 等. 硒对植物的生理作用及富硒瓜菜研究进展[J]. 中国瓜菜, 2014, 27(1): 5-9.
- [14] 陈丹硕, 杜艳, 梁锋, 等. 国内富硒食品研究开发现状及发展趋势分析[J]. 微量元素与健康研究, 2014, 31(1): 76-78.
- [15] 吴永尧, 彭振坤, 陈建英, 等. 水稻对环境硒的富集和耐受能力研究[J]. 微量元素与健康研究, 1999, 16(4): 42-44.
- [16] 赵成义. 环境中的硒及其与植物的关系[J]. 新疆环境保护, 1991, 13(3): 28-34.
- [17] 黄凯丰, 时政, 冯健英. 富硒蔬菜的研究现状[J]. 长江蔬菜, 2011(10): 14-17.
- [18] ASHER C J, BUTLER G W, PETEYSON P J. Selenium transport in root systems of tomato[J]. Journal of Experimental Botany, 1977, 28(2): 279-291.
- [19] HUBERT W L. Selenium accumulation in soils and its absorption by plants and animals[J]. Geological Society of America Bulletin, 1972, 83(1): 181-189.
- [20] GREATORIX E S, SOGN T A, OGAARD A F, et al. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 79(3): 221-231.
- [21] JOHNSON L. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH[J]. Plant and Soil, 1991, 133(1): 57-64.
- [22] de TEMMERMAN L, WAEGENEERS N, THIRY C, et al. Selenium content of Belgian cultivated soils and its uptake by field crops and vegetables[J]. Sci Total Environ, 2014, 4: 77-82.
- [23] GERM M, STIBILJ V, OSVALD J, et al. Effect of Selenium foliar application on chicory[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 795-798.
- [24] GUNNAR G N. Foliar application of selenite to barley plants low in Selenium[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1981, 12(6): 631-642.
- [25] 万洪富. 生态环境中的硒及植物对它的吸收和转化[J]. 土壤学进展, 1988(6): 19-21.
- [26] ZHANG M, HU C X, ZHAO X H, et al. Impact of molybdenum on Chinese cabbage response to selenium in solution culture[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2012, 58(5): 595-603.
- [27] OLSON O E, NOVACEK E J, WHITEHEAD E I, et al. Investigations on selenium in wheat[J]. Phytochemistry, 1970, 6(9): 1181-1188.
- [28] MACLEOD J A, GUPTA U C. Effect of selenium seed treatment on selenium concentrations in soybeans[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1995, 75(3): 287-291.
- [29] 高显钧, 白裕兵, 魏虹. 我国富硒食品特色农业发展现状研究[J]. 中国食物与营养, 2013(9): 26-29.
- [30] 赵广飞. 山东章丘富硒大葱协会会长长沙树星: 我体会到了标准化的好处 [EB/OL]. <http://www.farmer.com.cn/wlb/nmr/nb7/200803270066.htm>.
- [31] 广西北海: 富硒蔬菜上市 [EB/OL]. <http://www.xinnong.com/news/20141219/1221140.html>, 2014.
- [32] 谢锡平. 央视《每日农经》宣传推介恩施黑猪富硒蔬菜 [EB/OL]. 恩施日报, <http://www.enshi.gov.cn/zwyw/20150129/25033.html>, 2015.
- [33] 中国富硒网 [EB/OL]. <http://www.zgfw.com/sell/list.php?catid=61>.
- [34] 中国农业网 [EB/OL]. <http://www.agronet.com.cn/News/930843.html>, 2014-06-20.
- [35] 江津十大富硒长寿产业特产形成 [EB/OL]. http://www.4m3.cn/Article/4/jiangjin_854.html.
- [36] 平安县富硒产业园区办公室规划编制小组. 青海省平安县富硒产业规划 (2012—2020 年) [EB/OL]. <http://www.hdpa.gov.cn/html/10009/186192.html>, 2013.
- [37] http://www.lsswncp.com/index_71.html.
- [38] <http://www.sdfuxi.com/NewsView.asp?id=438>.
- [39] 张尚武, 王解新, 柳正坤. 新田富硒蔬菜品牌响 [EB/OL]. http://hnr.voc.com.cn/hnr_epaper/html/2012-12/13/content_599769.htm?div=-1.
- [40] GUNNAR G N. Foliar application and presowing treatment of cereals with selenite[J]. Z Pflanzenem, Bodenk, 1975, 138(1): 97-105.
- [41] GUPTA U C, WINTER K A, KUNELIUS H T. Effect of treating forage seed with selenium on the selenium concentration of alfalfa and Westerwolds ryegrass[J]. Can J Soil Sci, 1983, 63(3): 641-643.

Research Progress on Selenium-rich Vegetables and Mechanism of Selenium-enriched

DU Xiaofeng, WAN Yingxin, WANG Yuhua, NI Fang

(College of Applied Arts and Sciences, Beijing Union University, Beijing 100191)

Abstract: Selenium is a necessary element in our body. Lacking of selenium will lead to various diseases. Vegetables can achieve the transformation of inorganic selenium to organic selenium and increase the content of selenium, which is the fundamental measure to improve body's health. At present, four major methods of selenium-enriched plant cultivation are available: soil cultivation, foliar spray, solution cultivation, and seed dressing. Basing on the mechanism of absorption and transformation of selenium in plants, this paper, briefly, introduces the solutions above and progress in research on selenium-rich vegetables. It will provide theoretical and practice guide for research of selenium-rich vegetables that is easily absorbed.

Keywords: selenium; deficiency; selenium-enriched vegetable; selenium-enriched method